

Rainer Schmidt

Werkstoffverhalten in biologischen Systemen

Grundlagen, Anwendungen, Schädigungsmechanismen,
Werkstoffprüfung

Zweite Auflage

Mit 306 Abbildungen und 158 Tabellen



Springer

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung I

1.1 Was sind biologische Systeme?	1
1.2 Werkstoffanforderungen - Ein Überblick	4
1.2.1 Sterilität	7
1.2.2 Biokompatibilität, Hämkompatibilität	9
1.2.3 Biofunktionalität	10
1.3 Anforderungen in der Umwelttechnik	12
1.4 Historischer Überblick	13
Literatur	18

2 Zellen und Zellverhalten. 19

2.1 Prokaryoten	20
2.1.1 Viren, Phagen	20
2.1.2 Bakterien	20
2.1.2.1 Zellmembran	23
Gram-positive Zellen	26
Gram-negative Zellen	27
2.1.2.2 Energiequellen	28
Atmung und Gärung	28
Redoxpotential	29
Reaktionen auf Umweltveränderungen	31
2.1.2.3 Transport über Zellmembranen	32
2.1.2.4 Biomineralisation	35
2.1.2.5 Methoden zum Nachweis von Mikroorganismen	36
2.2 Eukaryoten	39
2.2.1 Klassifizierung	40
2.2.1.1 Algen	40
2.2.1.2 Pilze	41
2.2.2 Vielzeller	42
2.2.3 Gewebe	44
2.2.3.1 Binde- und Stützgewebe	44
Natürliche Wundheilung	45

2.2.3.2 Knochengewebe	46
Knochenbruchheilung	46
2.2.3.3 Blut	48
2.3 Immunsystem	49
2.4 Gewebereaktionen	51
2.5 Toxizität	51
2.6 Tests mit Eukaryoten (Biokompatibilität)	53
Literatur.	54

3 Materialwissenschaftliche Grundlagen. 57

3.1 Struktur und Fehlstellen.	57
3.1.1 Nulldimensionale Fehlstellen (Punktdefekte).	59
3.1.2. Eindimensionale Fehlstellen (Versetzungen).	61
3.1.3 Zweidimensionale Fehlstellen (Korn-und Phasengrenzen)	61
3.1.4 Dreidimensionale Fehlstellen.	62
3.2 Oberflächen	62
3.3 Zustandsschaubilder.	63
3.4 Diffusionsphänomene	64
3.4.1 Diffusionsmechanismen.	65
3.4.2 Diffusionsgesetze.	66
3.4.3 Der Diffusionskoeffizient	70
3.5 Keimbildung und Umwandlungen	72
3.5.1 Homogene und heterogene Umwandlungen	74
3.5.2 Homogene Keimbildung	75
3.5.3 Heterogene Keimbildung	76
3.5.4 Wachstumsprozesse	78
3.5.5 Wachstum biologischer Cluster.	79
3.6 Sintern	80
3.7 Korrosion	81
3.7.1 Phänomenologie der Korrosion.	82
3.7.2 Korrosionsmechanismen	83
3.7.2.1 Elektrochemische Grundlagen.	84
3.7.2.2 Passivität	89
3.7.2.3 Elektrochemische Mikroelemente	91
3.7.2.4 Konzentrationselement (Belüftungselement)	91
3.7.3 Korrosion und mechanisches Verhalten	93
3.7.4 Mikrobielle Korrosion	95
3.7.4.1 Depolarisation durch Mikroorganismen.	97
3.7.4.2 Sulfatreduzierende Bakterien (SRB).	97
3.7.4.3 Schwefeloxidierende Bakterien	101
3.7.4.4 Eisenoxidierende Bakterien	102
3.7.4.5 Säureschädigung	102

3.7.4.6 Extrazelluläre Polysaccharide (EPS).	103
3.7.5 Korrosion metallischer Implantate.	103
3.7.6 Korrosionsschutz.	105
Mikrobieller Korrosionsschutz.	107
3.8 Mechanisches Verhalten.	109
3.8.1 Berührungsspannungen.	113
3.8.2 Dynamische Belastung.	114
3.8.3 Viskoelastizität.	115
3.9 Fertigungstechnologische Einflüsse.	116
3.9.1 Schweißen.	116
3.9.2 Polieren.	120
3.9.3 Beschichtungen.	122
3.9.3.1 Oxidische Beschichtungen.	123
3.9.3.2 Metallische Beschichtungen.	124
3.9.3.3 Plasmaverfahren.	126
3.9.3.4 Thermisches Spritzen.	128
3.9.3.5 Kunststoffüberzüge.	129
Literatur.	130

4 Festkörperoberfläche und Adhäsion.133

4.1 Adhäsion.	133
4.1.1 Zeiteinfluß.	135
4.1.2 Äußere Einflüsse.	136
4.1.3 Elektrostatische Einflüsse.	137
4.2 Adhäsionsmechanismen.	138
4.2.1 Thermodynamische Grundlagen der Adhäsion.	139
4.2.1.1 Adhäsionsarbeit.	141
4.2.1.2 Deformationen.	143
4.2.1.3 Donator-Akzeptor-Modell (Säure/Base).	145
4.2.2 Wäßrige Lösungen.	146
DLVO-Theorie.	151
4.2.3 Effekte durch Makromoleküle.	153
4.2.4 Kapillarwirkung.	155
4.2.5 Hydrophilie, Hydrophobie.	156
4.2.5.1 Hydrophilie.	156
4.2.5.2 Hydrophobie.	157
4.3 Diffusionsspannung (Zeta-Potential).	157
4.4 Adsorptions-Isotherme.	160
4.5 Oberflächenenergie.	161
4.6 Elektrostatische Einflüsse.	168
4.7 Teilchentransport.	171
4.7.1 Hydrodynamische Einflüsse.	172

4.7.2 Diffusion in der Lösung	180
4.8 Oberflächen	182
Literatur	186

5 Biofilme und Biofilmtechnologie189

5.1 Biofilme	189
5.1.1 Biofilmbildung	192
5.1.1.1 Extrazelluläre Polymere Substanzen (EPS).	195
5.1.1.2 Geometrie und Beweglichkeit	197
5.1.2 Technische Nutzung von Biofilmen	199
5.1.2.1 Abwasser und Sielhaut	200
5.1.2.2 Abwasserreinigungsanlagen	202
5.1.2.3 Ausgewählte Verfahren	205
5.1.2.4 Essigsäureproduktion	205
5.1.2.5 Mikrobielles Erzleaching	205
5.1.2.6 Polysaccharid-Produktion	206
5.1.3 Zellimmobilisierung	206
5.1.3.1 Analytische Anwendungen (Biosensoren).	208
5.1.3.2 Umwelttechnische Anwendungen (Behandlungs- methoden)	210
5.1.3.3 Säuger-Zellsysteme	212
5.2 Biofouling	216
5.2.1 Membranfouling	216
5.2.2 Biofilme in Kühlsystemen	217
5.2.2.1 Wärmeübertragung	218
5.2.2.2 Biozide	220
5.3 Materialoberflächen und Sterilität	222
Mikrosystemtechnik und Bioadhäsion	224
5.4 Biomimetische Anwendungen und Biofilmtechnologien	224
5.4.1 Biomimetische Prinzipien	225
5.4.2 Tissue-Engineering	229
5.4.3 Biofilmtechnologien	231
Literatur	232

6 Werkstoffe in der Bioverfahrenstechnik235

6.1 Anlagentechnik	236
6.1.1 Bioreaktoren	236
6.1.2 Steriltechnik	240
6.1.3 Zelltrennung	241

6.2 Biotechnologisch eingesetzte Stämme.	247
6.3 Werkstoffe.	248
6.3.1. Metalle.	248
6.3.2 Glas.	250
6.3.3 Filterwerkstoffe.	251
6.3.4 Kunststoffe.	253
6.3.5 Dichtungswerkstoffe.	256
6.3.6 Beschichtungen.	258
Literatur.	261

7 Biomaterialien. 263

7.1 Mechanische Biomaterialanforderungen.	265
7.2 Zwischenfläche Implantat/Weichgewebe.	267
7.2.1 Wundheilung mit Implantat.	267
7.2.2 Physikochemische Oberflächeneffekte.	269
7.2.3 Oberflächentopographie.	271
7.3 Grenzfläche Implantat/Knochen.	274
7.4 Grenzfläche Implantat/Blut.	277
7.5 Werkstoffe in der Medizin.	278
7.5.1 Metallische Biomaterialien.	279
7.5.1.1 Stähle.	281
7.5.1.2 Kobaltlegierungen.	282
7.5.1.3 Reintitan und Titanlegierungen.	284
7.5.1.4 Poröse Metallbeschichtungen auf Co-und Ti-Basis.	286
7.5.1.5 Nickellegerungen.	287
7.5.1.6 Edelmetall-Dentallegierungen.	288
7.5.1.7 Reinmetalle.	290
7.5.2 Anorganisch/nichtmetallische Biomaterialien.	291
7.5.2.1 Bioinerte Oxidkeramiken.	291
Aluminiumoxidkeramik.	291
Zirkonoxidkeramik.	293
7.5.2.2 Bioaktive Kalziumphosphatkeramik.	294
Trikalziumphosphatkeramik (TCP).	295
Hydroxylapatit (HA).	295
7.5.2.3 Gläser und Glaskeramik.	297
Glaskeramik.	298
7.5.3 Kunststoffe.	299
7.5.3.1 Bio-und Häkompatibilität.	300
7.5.3.2 Synthetische Kunststoffe.	303
Polyethylen (HDPE, LDPE, UHMWPE).	303
Polypropylen (PP).	304
Polytetrafluorethylen (PTFE).	304

Polymethylmethacrylat (PMMA)	305
Polyamide (PA)	306
Polyvinylchlorid (PVC)	307
Polyethylenterephthalat (PET)	307
Polysulfon (PSU)	308
Polysiloxane (Silikone)	308
Polyurethan (PUR)	309
Hydrogele	311
7.5.3.3 Biologisch abbaubare Polymere	311
7.5.4 Kohlenstoff	313
7.5.5 Komposite und Verbünde	314
Literatur	317

8 Biologisch orientierte Werkstoffprüfung 319

8.1 Prüfprobleme, welche Größen?	319
8.2 Oberflächenrauigkeit	320
8.3 Mikroskopie	323
8.3.1 Lichtoptische Methoden	324
8.3.2 Elektronenoptische Methoden	326
8.3.3 Zellzahlmessung	330
8.4 Oberflächenanalytik und -energie	335
8.4.1 Elektronen- und Ionenspektroskopie	335
8.4.2 Zeta-Potential (Diffusionsspannung)	337
8.4.3 Oberflächenenergie	339
8.5 Messung von Adhäsionskräften	341
8.6 Elektrochemische Korrosionsmessungen	344
8.7 Kultivierung	350
8.8 Prüftechnische Unterschiede in Biotechnologie und Medizin	352
8.9 Qualitätssicherung und Risikoabschätzung	354
Literatur	355

9 Mathematische Methoden 357

9.1 Kinetische Modelle	357
9.1.1 Exponentieller Ansatz	357
9.1.2 Logistische Funktion	359
9.1.3 Monod-Modell	360
9.1.4 Reaktionskinetische Modelle	361
9.2 Monte-Carlo-Simulation	363
9.2.1 Teilchenbewegung	365

9.2.2 Clustermodelle	367
9.3 Strukturmodelle	371
9.4 Diffusion und Wärmeleitung	375
9.5 Rheologie	378
Literatur	380
 Sachverzeichnis.	 381
 Anhang.	 391
Tabellen A5.1 bis A5.7.	393
Tabellen A6.1. bis A6.13.	397
Tabellen A7.1 bis A7.29.	403